

УДК 65.011.56:658.524

В.Я. КОПП, докт. техн. наук, проф., зав. каф., Севастопольский национальный технический университет

О.П. ЧУБ, канд. техн. наук, доц., Севастопольский национальный технический университет

С.Н. ФИСУН, канд. техн. наук, доц., Севастопольский национальный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДИКИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ СУММЕ ВКЛАДЫВАЕМЫХ СРЕДСТВ

Розглядається оцінка ефективності методики оптимізації переналажуваних автоматизованих виробничих систем за критерієм максимальної продуктивності при обмеженою сумі вкладених коштів. Використання методики дозволяє отримати приріст продуктивності переналажуваних систем до 17%.

Ключові слова: автоматизована виробнича система, оптимізація.

Estimation of efficiency of readjusted automated production system's optimization mathematical model use in conditions of limited amount of invested funds is considered. Application of optimization mathematical model allows to increase system productivity up to 17%.

Key words: automated production system, optimization.

Рассматривается оценка эффективности методики оптимизации переналаживаемых автоматизированных производственных систем по критерию максимальной производительности при ограниченной сумме вложенных средств. Использование методики позволяет получить прирост производительности переналаживаемых систем до 17%.

Ключевые слова: автоматизированная производственная система, оптимизация.

Оценка, расчет и анализ производительности, гибкости и экономической эффективности (ГОСТ 4.368-85) переналаживаемых автоматизированных производственных систем (ПАПС) необходимы как на ранних, так и на завершающих стадиях их проектирования и эксплуатации. В первом случае, при анализе технического задания, возможных проектных решений, критерий ожидаемой производительности является одним из важнейших при выборе оптимального варианта. Во втором случае, когда уже определены технологический проект, компоновочная схема производственной системы, а также разработаны конструкции механизмов, необходимым является прогнозирование уточненных характеристик работы для сравнения их с заданными. На стадии запуска производственного процесса возникает необходимость оценить реальную способность системы обеспечивать выпуск продукции с требуемыми показателями качества и в необходимом количестве за определенный промежуток времени. В период эксплуатации основной становится задача оценки резервов повышения производительности.

В настоящее время все большее распространение для моделирования сложных систем получает аппарат полумарковских процессов, позволяющий

снять допущение об экспоненциальности случайных величин, входящих в модель, и использовать произвольные законы распределения, что значительно повышает точность расчетов. Разработанный в настоящее время математический аппарат теории массового обслуживания, марковских и полумарковских процессов достаточно эффективно описывает поведение АПС, что подтверждено обширными теоретическими исследованиями и практическими результатами. Но, во-первых, в большинстве существующих моделей не учитывается процесс переналадок АПС, поэтому их нельзя считать достаточно адекватными для описания работы переналаживаемых систем. Во-вторых, в ряде моделей используются итерационные процедуры, которые ограничивают возможности последующего анализа и совершенствования систем. Таким образом, вопросы создания высокоадекватных моделей АПС в настоящее время нельзя считать решенными в полном объеме и представляется перспективным направлением построение математических моделей функционирования данных систем с учетом отказов, восстановлений и переналадок с использованием аппарата полумарковских процессов, позволяющего использовать произвольные законы распределения случайных величин.

Методология построения математической модели переналаживаемой автоматизированной производственной системы [1] основывается на алгоритме последовательного выполнения операций разрежения потоков событий и последующей их суперпозиции. В случае определения функции распределения времени восстановления, перед применением данных операций было использовано преобразование ненадежного устройства в эквивалентное абсолютно надежное. При определении функции распределения времени переналадок, последовательность операций разрежения потоков событий и их суперпозиции применена дважды: при определении функции распределения суммарного потока переналадок по каждому виду продукции и при определении функции распределения суммарного потока переналадок по всем видам продукции. Процессы функционирования АПС можно представить как альтернирующий процесс восстановления с известными функциями распределения обслуживания заявок и переналадок [1]. Достоинство построенной модели - отказ от априорного предположения об экспоненциальности законов распределения случайных величин, возможность использования произвольных законов распределения случайных величин. Упростить дальнейшее использование на практике полученных теоретических результатов позволяет применение аналитических выражений для функций распределения и числовых характеристик случайных величин (СВ), полученных при аппроксимации реальных законов распределения известными, например, экспоненциальным, экспоненциальным со смещением, обобщенным Эрланга второго порядка, обобщенным Эрланга второго порядка со смещением [1].

Для ПАПС значительную долю длительности производственного цикла составляет не машинное время, а такие составляющие, как время восстановления подсистем и элементов после функциональных и параметрических отказов, суммарное время переналадок, ожидания заготовок, транспортирования и др. Мероприятия, направленные на повышение степени гибкости и надежности

системы, требуют определенного вложения средств, поэтому целесообразно на основе математического описания, учитывающего особенности условий работы производственной системы [1], заранее оценить эффективность их использования, а также, выявить резервы системы, которые бы позволили без дополнительного вложения средств повысить производительность, а, следовательно, и эффективность. Основными резервами повышения средней производительности и эффективности использования переналаживаемых автоматизированных производственных систем является минимизация времени переналадок и простоя по отказам с учетом случайного характера процессов, протекающих в системе [1, 2].

Постановка задачи

Провести решение задачи оптимизации переналаживаемой автоматизированной производственной системы (ПАПС) на примере резбонарезного модуля при ограниченной сумме вкладываемых средств градиентным методом. В результате определить оптимальное распределение средств по таким направлениям, как сокращение простоев из-за отказов и переналадок с одних i -х на другие j -е виды продукции при различных суммарных значениях вкладываемых средств: 200; 100; 50; 30; 20; 15; 10; 5 усл. ед., позволяющих обеспечить максимальный уровень производительности системы. На основе полученных результатов оценить эффективность использования разработанной методики оптимизации, учитывающей особенности функционирования переналаживаемых систем в условиях мелкосерийного производства, а также возможность использования произвольных законов распределения случайных величин при аппроксимации реальных законов распределения. Оценку эффективности указанной методики провести при сравнении полученного уровня производительности автоматизированной системы при ее использовании с результатами расчетов при равномерном распределении средств по всем направлениям в системе, а также при выделении всех средств только на устранение отказов.

С использованием изложенной выше методики проведено решение задачи оптимизации по критерию максимальной производительности при использовании ограничения на сумму вкладываемых средств. Средства возможно направлять на сокращение простоев по отказам или переналадкам на различные виды продукции.

Решение производилось с использованием следующих соотношений.

Производительность – это количество годной продукции в единицу времени, равная:

$$P = \frac{1}{T_p + T_o(C_o) + T_n(C_n)},$$

где T_p – математическое ожидание времени обслуживания единицы продукции; $T_o(C_o)$, $T_n(C_n)$ – математические ожидания времен простоев системы соответственно из-за отказов и переналадок системы (приходящиеся на одну деталь), зависящие от количества вложенных средств C_o , C_n на мероприятия по их снижению.

T_p переналаживаемой системы по модели [1, 3], определяется следующим

образом. По известным математическим ожиданиям $M\alpha_{li}$ времени обслуживания i -й партии продукции и вероятностях поступления продукции i -го вида $P_i = n_i / \sum_{i=1}^m n_i$ (n_i – размер партии i -го вида, $i = \overline{1, m}$) определяется:

$$T_p = \frac{\prod_{i=1}^m \left(\frac{M\alpha_{li}}{P_i} \right)}{\sum_{p=1}^m \prod_{i=1, i \neq p}^m \left(\frac{M\alpha_{li}^p}{P_i^p} \right)}. \quad (1)$$

$T_o(C_o)$ определяется как разность математического ожидания времени обслуживания единицы продукции с учетом простоев по отказам T_{po} и T_p

$$T_o(C_o) = T_{po} - T_p.$$

T_{po} в общем случае определяется как

$$T_{po} = \frac{\prod_{i=1}^m \left(\frac{M\alpha_{li}(M\alpha_{2i} + M\beta_{2i})}{P_i \cdot M\alpha_{2i}} \right)}{\sum_{p=1}^m \prod_{i=1, i \neq p}^m \left(\frac{M\alpha_{li}^p (M\alpha_{2i}^p + M\beta_{2i}^p)}{P_i^p M\alpha_{2i}^p} \right)}, \quad (2)$$

где $M\alpha_{2i}$ и $M\beta_{2i}$ – математические ожидания времен наработки на отказ и восстановления ПАПС при обслуживании различных видов продукции, $i = \overline{1, m}$.

Если времена наработки на отказ и восстановления не зависят от вида продукции, то (2) преобразуется к виду

$$T_{po} = \frac{(M\alpha_2 + M\beta_2)}{M\alpha_2} \cdot \frac{\prod_{i=1}^m \left(\frac{M\alpha_{li}}{P_i} \right)}{\sum_{p=1}^m \prod_{i=1, i \neq p}^m \left(\frac{M\alpha_{li}^p}{P_i^p} \right)}, \quad (3)$$

где $M\alpha_2$ и $M\beta_2$ – математические ожидания времен наработки на отказ и восстановления ПАПС.

Тогда получаем

$$T_o(C_o) = \left[\frac{(M\alpha_2 + M\beta_2)}{M\alpha_2} - 1 \right] \cdot \frac{\prod_{i=1}^m \left(\frac{M\alpha_{li}}{P_i} \right)}{\sum_{p=1}^m \prod_{i=1, i \neq p}^m \left(\frac{M\alpha_{li}^p}{P_i^p} \right)}. \quad (4)$$

Время $T_n(C_n)$ [1] при известных $M\alpha_{ij}$ – математических ожиданиях времен переналадок с i -й на j -ю партию, вероятностях $P_{ij} = 1/(m-1)$, $P_{\Sigma i} = 1/m$ (m – количество видов продукции) равно математическому ожиданию случайной величины времени переналадок

$$T_n(C_n) = \frac{\prod_{i=1}^m \left(\frac{1}{P_{\Sigma i}} \cdot \frac{\prod_{j=1, j \neq i}^m \left(\frac{M\alpha_{ij}}{P_{ij}} \right)}{\sum_{p=1}^m \prod_{j=1, j \neq i, j \neq p}^m \left(\frac{M\alpha_{ij}^p}{P_{ij}^p} \right)} \right)}{\sum_{f=1}^m \prod_{i=1, i \neq f}^m \left(\frac{1}{P_{\Sigma i}^f} \cdot \frac{\prod_{j=1, j \neq i}^m \left(\frac{M\alpha_{ij}^{pf}}{P_{ij}^{pf}} \right)}{\sum_{p=1}^m \prod_{j=1, j \neq i, j \neq p}^m \left(\frac{M\alpha_{ij}^{pf}}{P_{ij}^{pf}} \right)} \right)} \quad (5)$$

Обозначим выражение

$$\frac{\prod_{j=1, j \neq i}^m \left(\frac{M\alpha_{ij}}{P_{ij}^{pf}} \right)}{\sum_{p=1}^m \prod_{j=1, j \neq i, j \neq p}^m \left(\frac{M\alpha_{ij}^p}{P_{ij}^p} \right)} = M\alpha_i^f,$$

где $M\alpha_i$ – математическое ожидание времени переналадки с изделия i -го типа на другие из m . Тогда (5) преобразуется к виду

$$T_n(C_n) = \frac{\prod_{i=1}^m \left(\frac{1}{P_{\Sigma i}^f} \cdot M\alpha_i^f \right)}{\sum_{f=1}^m \prod_{i=1, i \neq f}^m \left(\frac{1}{P_{\Sigma i}^f} \cdot M\alpha_i^f \right)}.$$

Пусть C_{ni} ($i = \overline{1, m}$) – размеры вкладываемых средств на сокращение потерь из-за переналадок при изготовлении m различных видов продукции, а C_0 – на сокращение потерь времени из-за отказов.

Известно, что при вложении средств с увеличением затрат скорость увеличения отдачи уменьшается, а начиная с некоторой величины, остается на прежнем уровне.

Для случая вложения средств на сокращение длительности простоев из-за отказов и переналадок системы данная закономерность иллюстрируется рис. 1.

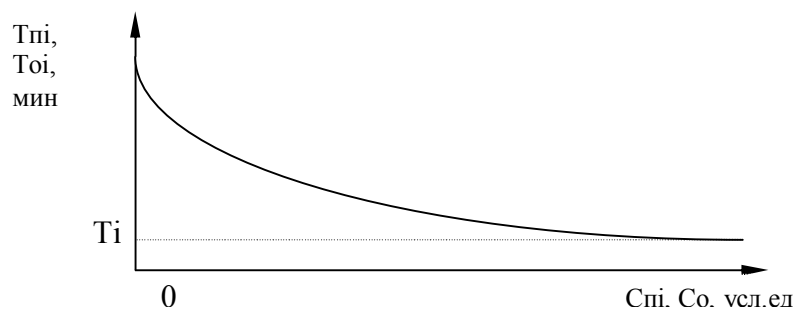


Рис. 1. Зависимость простоев системы из-за отказов T_o и переналадок T_{ni} от количества вкладываемых средств C_{ni}, C_o

Приведенная зависимость строится следующим образом: на основе экспериментальных данных получают взаимосвязь приращения вкладываемых средств и соответствующего изменения времен потерь, последовательно увеличивая количество вложенных средств и фиксируя при этом значения времен простоев.

Исходя из этого, для аппроксимации реальной зависимости простоев из-за переналадок i -го вида продукции от вкладываемых средств, можно использовать экспоненциальную функцию следующего вида:

$$T_{ni}(C_{ni}) = a_{ni} + k_{ni} \cdot e^{-\lambda_{ni} C_{ni}}, \quad i = \overline{1, m}.$$

Здесь $\lambda_{ni}, k_{ni}, a_{ni}$ – постоянные коэффициенты, определяемые при аппроксимации методом наименьших квадратов, а C_{ni} – средства, вкладываемые на сокращение простоев при переналадке.

Аналогично для зависимости времени восстановления системы от вкладываемых средств получаем

$$T_o(C_o) = a_o + k_o \cdot e^{-\lambda_o C_o},$$

где λ_o, k_o, a_o – постоянные коэффициенты, определяемые при аппроксимации, а C_o – средства, вкладываемые на сокращение времени восстановления.

Задача оптимизации была сформулирована следующим образом [2].

Необходимо найти максимальное значение производительности ПАПС

$$\Pi = \frac{1}{T_{po}(C_o) + T_n(C_n)} \rightarrow \max,$$

если накладываются ограничения на сумму средств, которые можно направить на сокращение времени переналадки или восстановления ПАПС

$$C = \sum_{i=1}^m C_{ni} + C_o.$$

В таблице 1 приводятся исходные данные, которые использовались при решении поставленной задачи оптимизации при $m = 6$ (число видов изделий) для некоторых возможных случаев вложения предприятием ограниченных сумм средств (100; 50; 30; 20; 15; 10; 7; 5; 3; 2; 1 усл.ед.) на сокращение простоев ПАПС из-за переналадок и отказов. В начальной точке при решении задачи оптимизации величина производительности составляет 3,481 дет./ч для всех случаев вложения ограниченных сумм средств.

Таблица 1 – Исходные данные для задачи оптимизации

Зависимости времен восстановления и переналадок от вкладываемых средств	$M\alpha_{li}, \text{ ч}$	Сумма выделенных средств (допустимых затрат), C , усл. ед.	P_i
$T_o(C_o) = 25 + 173,447 \cdot e^{-7,165 \cdot C_o}$	-	100; 50; 30; 20; 15; 10; 7; 5; 3; 2; 1	-
$T_{n1}(C_{n1}) = 20 + 154599 \cdot e^{-2,347 C_{n1}}$	30,20		$P_1 = 0,132$
$T_{n2}(C_{n2}) = 20 + 174,647 \cdot e^{-2,431 C_{n2}}$	50,10		$P_2 = 0,198$
$T_{n3}(C_{n3}) = 20 + 170\,836 \cdot e^{-2,438 C_{n3}}$	25,10		$P_3 = 0,165$
$T_{n4}(C_{n4}) = 21 + 244,647 \cdot e^{-2,722 C_{n4}}$	38,05		$P_4 = 0,176$
$T_{n5}(C_{n5}) = 23 + 331,151 \cdot e^{-3,043 C_{n5}}$	40,04		$P_5 = 0,154$
$T_{n6}(C_{n6}) = 23 + 309,766 \cdot e^{-2,939 C_{n6}}$	52,21		$P_6 = 0,176$

В таблице 2 приведены результаты расчетов максимальных значений производительности, а также размеров затрат по оцениваемым направлениям (на

устранение отказов и осуществление переналадок), необходимых для ее обеспечения. На рис. 2 представлена зависимость максимальной производительности от количества вкладываемых, оптимально распределенных средств между C_{ni} , C_o .

Таблица 2 Результаты решения задачи оптимизации

Сумма выделенных средств, C , усл. ед.	Максимальная производительность, P , дет./ч	Размеры вкладываемых средств, обеспечивающих максимальную производительность системы, C_o , C_{ni} , усл. ед.
100	3,7892	$C_0 = 7,862$; $C_{n1} = 16,494$; $C_{n2} = 16,212$; $C_{n3} = 16,142$; $C_{n4} = 15,108$; $C_{n5} = 13,931$ $C_{n6} = 14,250$
50	3,7870	$C_0 = 10,011$; $C_{n1} = 6,758$; $C_{n2} = 7,066$; $C_{n3} = 6,762$; $C_{n4} = 6,645$; $C_{n5} = 6,384$ $C_{n6} = 6,373$
30	3,7720	$C_0 = 5,013$; $C_{n1} = 4,485$; $C_{n2} = 4,421$; $C_{n3} = 4,486$; $C_{n4} = 4,108$; $C_{n5} = 3,715$; $C_{n6} = 3,772$
20	3,7300	$C_0 = 2,210$; $C_{n1} = 3,429$; $C_{n2} = 3,278$ $C_{n3} = 3,361$; $C_{n4} = 2,833$; $C_{n5} = 2,435$ $C_{n6} = 2,454$
15	3.728	$C_0 = 3.083$; $C_{n1} = 3.792$; $C_{n2} = 4.077$; $C_{n3} = 4.048$; $C_{n4} = 0$; $C_{n5} = 0$; $C_{n6} = 0$
10	3.647	$C_0 = 2.577$; $C_{n1} = 1.467$; $C_{n2} = 1.381$; $C_{n3} = 1.409$; $C_{n4} = 1.163$; $C_{n5} = 0.99$; $C_{n6} = 1.013$
7	3.645	$C_0 = 2.509$; $C_{n1} = 4.491$; $C_{n2} = 0$; $C_{n3} = 0$; $C_{n4} = 0$; $C_{n5} = 0$; $C_{n6} = 0$
5	3.588	$C_0 = 2.161$; $C_{n1} = 2.839$; $C_{n2} = 0$; $C_{n3} = 0$; $C_{n4} = 0$; $C_{n5} = 0$; $C_{n6} = 0$
3	3.500	$C_0 = 2.036$; $C_{n1} = 0.964$; $C_{n2} = 0$; $C_{n3} = 0$; $C_{n4} = 0$; $C_{n5} = 0$; $C_{n6} = 0$
2	3.457	$C_0 = 2$; $C_{n1} = 0$; $C_{n2} = 0$; $C_{n3} = 0$; $C_{n4} = 0$; $C_{n5} = 0$; $C_{n6} = 0$
1	3.314	$C_0 = 1$; $C_{n1} = 0$; $C_{n2} = 0$; $C_{n3} = 0$; $C_{n4} = 0$; $C_{n5} = 0$; $C_{n6} = 0$

Данные по относительному приросту производительности, возможному за счет оптимального перераспределения вкладываемых по различным направлениям средств, приводятся в таблице 3. Сравнение оптимального

вложения средств производилось с двумя из возможных вариантов. При варианте 1 сравнение производилось с равномерным распределением средств по всем направлениям, а при варианте 2 все средства вкладывались только в повышение качества восстановления оборудования после отказов (увеличивалось C_o).

Выводы

Анализ данных таблиц 2, 3 позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, существует оптимальное значение производительности в рассматриваемой постановке задачи оптимизации в области допустимых решений. Во-вторых, относительный прирост производительности зависит от суммы выделенных средств и имеет для конкретных условий производства определенный предел, к которому асимптотически стремится. В случае данного примера, начиная с $C = 50$ усл.ед. (см. рисунок 2), увеличение производительности является незначительным, следовательно, вкладывать средства более 50 усл.ед. в данных условиях производства на обслуживание ГПМ резьбообработки является нецелесообразным.

Таблица 3. Сравнение результатов расчета производительности системы при оптимизации, равномерном распределении по всем направления средств, выделения всех средств на устранение отказов

Сумма средств, усл.ед.	Равномерное распределение по всем направлениям средств			Все средства направляются на устранение отказов		Производительность при решении задачи оптимального распределения средств (максимальная), дет./ч.
	Производительность, дет./ч.	Распределение средств по каждому направлению, усл.ед.	Расхождение результата по отношению к значению максимальной производительности, %	Производительность, дет./ч.	Расхождение результата по отношению к значению максимальной производительности, %	
15	3.680	2.143	1.280	3.481	6.626	3.728
10	3.562	1.429	2.331	3.481	4.430	3.647
7	3.447	1.000	5.432	3.481	4.379	3.645
5	3.284	0.714	8.473	3.478	2.248	3.588
3	3.070	0.429	12.280	3.478	0.629	3.500
2	2.926	0.286	15.860	3.457	0	3.457
1	2.758	0.143	17.080	3.314	0	3.314

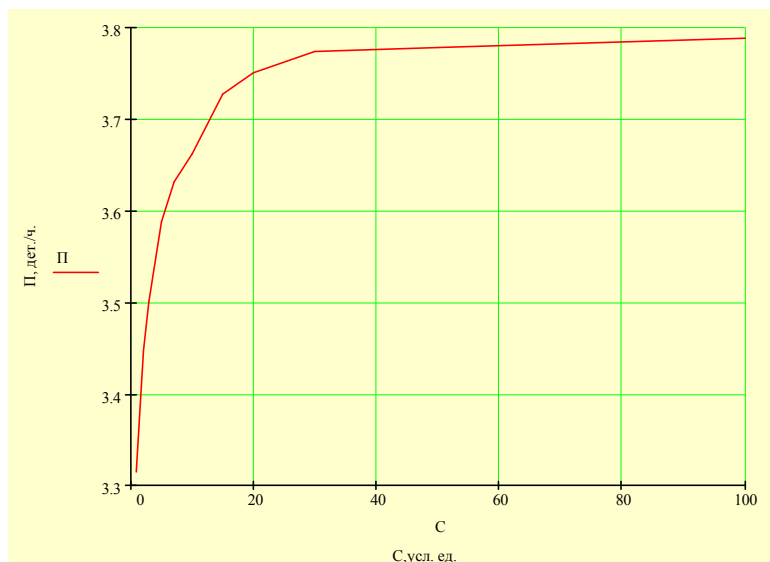


Рис. 2. Зависимость максимальной производительности от количества вкладываемых оптимально распределенных средств между C_{ni} , C_o

Максимальное значение производительности составило 3,7892 дет./ч. – соответствует асимптотическому пределу для технической системы в данных условиях. Наибольший прирост производительности при увеличении суммы средств происходит в интервале 0...15 усл. ед.

На основе полученных результатов, оценена эффективность использования разработанной методики оптимизации путем сравнения полученного оптимального уровня производительности с результатами расчетов при равномерном распределении средств по всем направлениям в системе, а также при выделении всех средств только на устранение отказов. Полученные результаты для интервала, где наблюдается наибольший рост производительности, сведены в таблицу 3.

Для рассматриваемой ПАПС резьбообработки использование оптимизации по сравнению с равномерным распределением средств позволило получить до 17% прирост производительности, а по сравнению с вариантом вложения всех средств на устранение отказов системы – до 6,626%. Проведенные исследования показывают, что использование разработанной методики моделирования и оптимизации переналаживаемых автоматизированных производственных систем для различных технологических процессов позволяет найти резервы системы и только за счет перераспределения имеющихся на производстве средств добиться значительного роста производительности, что особенно актуально в современной экономической ситуации на Украине.

Перспективы дальнейшего использования предлагаемого подхода состоят, во-первых, в возможности использования и исследовании эффективности применения других критериев оптимизации ПАПС, а также других или дополнительных направлений вложения средств (например, – на расширение диапазона технических возможностей оборудования). Во-вторых, может использоваться представление функционирования ПАПС как альтернирующего процесса восстановления [3] абсолютно надежной системы

Было определено оптимальное распределение средств по указанным ранее направлениям при различных суммарных значениях вкладываемых средств: 100; 50; 30; 20; 15; 10; 5; 3; 2; 1 усл. ед., позволяющих обеспечить максимальный уровень производительности системы. Построен график зависимости производительности от вкладываемых суммарных средств (см. рис. 2).

(когда времена отказа и восстановления учтены во времени обслуживания), эквивалентно заменяющей реальную, с известными функциями распределения времен обслуживания продукции и переналадок. Данный факт позволяет исследовать и совершенствовать многокомпонентные иерархически организованные системы любого уровня обобщения в структуре комплексной переналаживаемой автоматизированной производственной системы предприятия.

Список литературы: 1. *Konn В.Я.* Математическая модель оценки влияния переналадок и отказов на производительность ГПС мелкосерийного производства/ Копп В.Я., Чуб О.П., Обжерин Ю.Е.// Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. тр. – Севастополь, 1999. - Вып.1.- С. 39-45. 2. *Чуб О.П.* Повышение производительности переналаживаемых автоматизированных производственных систем на основе оптимального распределения ресурсов/ Копп В.Я., Чуб О.П., Обжерин Ю.Е.// Сборник научных трудов СИАЭиП: Сб. науч. тр. – Севастополь:– 2000. - Вып.3. – С. 36 – 44. 3. *Konn В.Я.* Моделирование переналаживаемых автоматизированных производственных систем./ В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский, О.П.Чуб // Монография. Севастополь, 2007г. – изд-во СевНТУ, 2007, 232с., ил.

Поступила в редколлегию 19.10.2011

УДК 05.11.16

Н.М. БЄЛОВА, асп., ХНАДУ, Харків

ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ В ОБРОБЦІ СИГНАЛІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ ВИМІРЮВАЛЬНО-ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

Вейвлет-аналіз є порівняно новим математичним апаратом і вже представляє собою найпотужніший на сьогодні інструмент дослідження структури нестационарних сигналів. В роботі запропонований алгоритм вейвлет-аналізу для використання в інтелектуальній вимірювально-інформаційній системі.

Ключові слова: вейвлет-перетворення, нестационарний сигнал, алгоритм вейвлет-аналізу.

Wavelet analysis is a relatively new mathematical tools and is a powerful tool for studying the structure nonstationary signals of today. An algorithm of wavelet analysis for use in measuring and intellectual information system proposed in this paper.

Key words: wavelet-transform, nonstationary signal, algorithm of wavelet analysis.

Вейвлет-анализ является сравнительно новым математическим аппаратом и уже представляет собой мощный на сегодня инструмент исследования структуры нестационарных сигналов. В работе предложен алгоритм вейвлет-анализа для использования в интеллектуальной измерительно-информационной системе.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, нестационарный сигнал, алгоритм вейвлет-преобразования.

Вступ

Алгоритми обробки нестационарних сигналів, які використовуються в сучасних вимірювально-інформаційних системах (ВІС), у більшості випадків базуються на перетворенні Фур'є. Існуючі підходи мають низку обмежень. З появою теорії вейвлет-перетворення такі обмеження частково знімаються. Дана